

補助事業番号 2020M-130

補助事業名 2020年度 超音波振動を援用した高アスペクト比マイクロ加工に関する研究
の補助事業

補助事業者名 新潟大学教育学部 金属加工研究室

1 研究の概要

機能性材料を用いた金型製作において、製作コストの削減および製作期間の短縮が常に求められている。放電加工法は、高硬度材料を高精度に加工できるものの、加工速度が遅いといった問題がある。そこで、超音波振動を援用することで放電加工特性向上が試みられている。しかし、加工特性向上の要因については知られていない。そこで本研究は、放電加工法に超音波振動を援用し、加工特性向上の要因について調査することを目的とした。将来的に本手法を市販のNC放電加工機へ展開することが可能となれば、問題となっている金型製作期間の短縮が実現する。

2 研究の目的と背景

近年、放電加工法は電源の改良や適切な電極材料を選定することにより鏡面加工が実現している。しかし、金型適用において十分満足しているとは言えない。一方、より精細な仕上げ面粗さを得るためには電気条件(放電エネルギー)を小さく設定するため、加工速度が著しく低下する。さらに、放電加工法による穴加工は、加工穴深さが深くなると加工くずの排出が困難となり放電集中現象が頻発し、仕上げ精度が大幅に低下する。特に、微小径の深穴加工において著しく課題となっている。

そこで本研究では、極間(電極-被加工物間)の安定化を狙って超音波振動を援用した放電加工を実行し、加工特性向上の支配因子を調査する。特に、超音波振動付与放電加工は、同一条件における加工速度において絶大な効果を発揮しているため、超音波振動の援用効果をハイスピードマイクロスコープによって極間現象を詳細に観察する。超音波振動を援用することで極間に介在する加工屑および気泡の排出効率を調査する。最終的には、援用周期(周波数)や援用方法を考慮し、機能性金型材料や加工困難な高アスペクト比の微小径深穴に対する仕上げレス加工への展開を目的とする。

3 研究内容

(1)超音波振動を援用した高アスペクト比マイクロ加工に関する研究

(http://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/overview/2020_JKA_report.pdf)

1.1 超音波振動を援用した放電加工

本研究は、超音波振動を電極に直接付与している。ここでは、異なる周波数および振幅の超音波振動を電極に付与した放電加工特性を調査した。図1に周波数および振幅が加工速度におよぼす影響を示す。周波数0 [kHz]は、電極に超音波振動を付与しない場合とする。同一周波数で比較すると、振幅が大きくなるにつれ、加工速度が向上している。特に、周波数37 [kHz] - 振幅16

[μm]で、大きく加工速度が増大した。一方、同一振幅で比較すると、周波数が高くなるほど加工速度が向上する傾向にある。

1.2 電極速度が加工速度におよぼす影響

ここでは、電極速度が加工速度におよぼす影響について調査した。電極速度とは電極が縦振動する平均の速さとし、式(1)から算出する。ここでは、 a :銅電極の振幅、 f :振動周波数とする。例えば、周波数を37 [kHz] - 振幅8 [μm]とした場合、電極速度は296 [mm/s]である。

$$V = a \cdot f [\mu\text{m/s}] \quad \dots\dots (1)$$

図2に電極速度と加工速度の関係を示す。図2の結果から、電極速度が速くなるほど加工速度の増大が確認できる。電極を超音波振動させることで、電極と被加工物間の雰囲気を変化させているものと予想される。

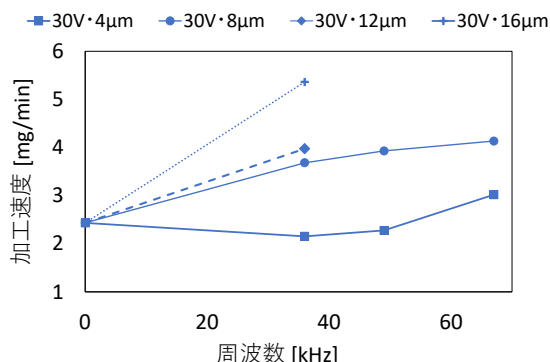


図1 周波数および振幅が加工速度におよぼす影響

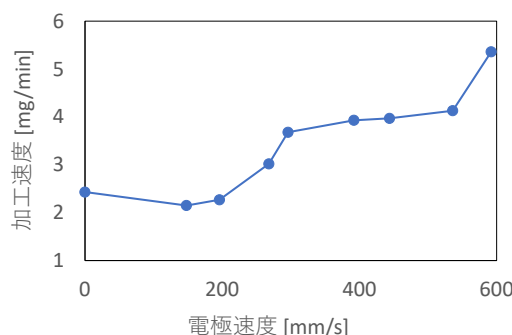


図2 電極速度が加工速度におよぼす影響
Φ3

(2) 放電加工における極間現象の観察

図2 (a)に超音波振動を付与しない場合、図2 (b)に超音波振動を電極に付与した場合の側面からの様子を示す。各図に示している時間は、放電発生からの経過時間である。

図2 (a)では、放電発生後、次々と発生する気泡が時間の経過とともに極間で合一している様子が観察された。これまでの研究

においても放電加工における極間は、合一した大きな気泡が形成され、気泡で大部分を占有している報告されている。本研究においても、穴深さ1 [mm]で合一した気泡は極間で残留し、排出されることが確認された。図2 (b)超音波振動を電極に付与した場合、気泡は極間で大きく合一されることがなく穴の基準位置まで抜けていくことが確認された。また、加工屑は気泡の境界に存在し、気泡境界に蓄積される。気泡は、合一し膨張しながら上部に動き、蓄積された加工屑をより外側に押し出す。そのため、気泡が穴から抜けることで、加工屑も排出されることが分かった。このことから加工屑の排出に、気泡が大きな役割を担っていると考えられる。

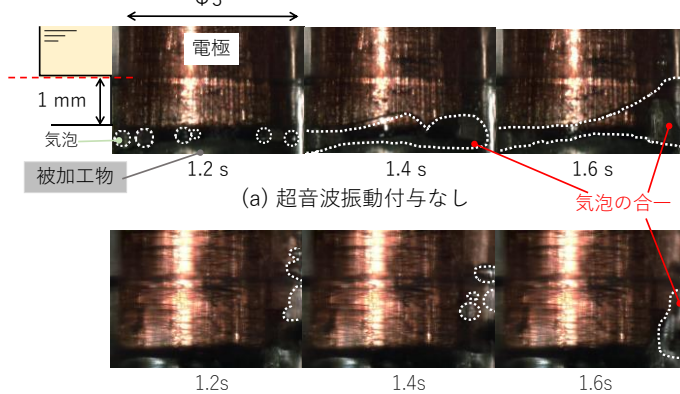


図3 極間現象の観察

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

放電加工は、被加工物の硬度や靱性といった材料特性に影響することなく加工できる特徴がある。この特徴を生かし、放電加工機は、金型製作に広く用いられている。特に、焼き入れ後の金型に対する最終仕上げは、放電加工以外の手法で加工することが困難となっている。一方で、放電加工の問題点として、最終仕上げには、低エネルギーの加工条件を用いる必要があるため、加工速度が遅くなる。

そこで、本研究で提案した超音波振動の援用を実際の放電加工機へ展開する。本提案が実用化されることで、加工速度に関する問題が解決する。これまで金型製作に必要であった時間を大幅に短縮することが可能となるなど大きな効果が期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

超音波振動を援用した放電加工法は、多くの研究者によって実施されている。しかし、超音波振動子および振動系の共振点のみでしか検討されていない。本研究は、同一振動系に複数の共振周波数および振幅が加工特性におよぼす影響を詳細に調査した。一方で、超音波振動を放電加工に援用することで、どのような現象が発生しているのかいまだ完全には解明されていないのが現状である。そこで、加工特性向上のメカニズムを議論する上で、極間雰囲気を直接観察できる装置を構築した。今回の研究では、放電加工中の側面ギャップにおける気泡および加工屑を観察し、超音波振動の援用効果を調査した。また、超音波振動の援用は、電極消耗率に対しても効果がある。将来的に、電極消耗率に対するメカニズムを解明することで、高精度仕上げ加工を試みる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

学術講演論文

- [1] 平尾篤利, 後藤啓光, 谷貴幸: 放電加工における加工穴側面の気泡挙動, 電気加工技術, 第44巻, 第137号, (2021)18-23.
- [2] 今井皓斗, 平尾篤利, 放電加工における気泡挙動の直接観察, 日本産業技術教育学会 第31回北陸支部大会学術講演会, (2020)13.
- [3] 鈴見泰河, 平尾篤利, 磁気継手を用いた切削加工機の開発, 日本産業技術教育学会 第31回北陸支部大会学術講演会, (2020)18.
- [4] 今井皓斗, 平尾篤利, 谷貴幸, 超音波振動を援用した深穴放電加工, 2020年度精密工学会 北陸信越支部学術講演会, (2020)D41
- [5] 鈴見泰河, 平尾篤利, 非接触動力伝達機構を用いた工具寿命の自動判別, 2020年度精密工学会 北陸信越支部学術講演会, (2020)C22
- [6] 平尾篤利, 長谷川拓海, 後藤啓光, 谷貴幸, 工具電極の形状が深穴放電加工におよぼす影響, 2020年度電気加工学会全国大会全国大会講演論文集, (2020)11-12.

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

超音波振動を援用した高アスペクト比マイクロ加工に関する研究の補助事業報告書

(http://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/overview/H30_JKA_report.pdf)

目次

第1章 序論	4
1.1 放電加工法	4
1.1.1 はじめに	4
1.1.2 放電加工の原理	5
1.1.3 パルス幅とピーク電流	6
1.2 気泡の形成	7
1.2.1 単発放電加工における気泡の形成	7
1.2.2 連続放電加工における気泡の形成	8
1.3 超音波振動付与加工	9
1.3.1 超音波振動の原理	9
1.3.2 超音波振動を応用した様々な加工	9
1.3.3 超音波振動付与放電加工	9
1.4 本研究の目的	10
1.4.1 本研究の背景および従来研究との関連性	10
1.4.2 本研究の目的	10
1.4.3 本論文の構成	10
第2章 電極および振動子の振幅計測	11
2.1 緒言	11
2.2 実験装置・方法	11
2.2.1 振動付与装置概要	11
2.2.2 ランジュバン型振動子および銅電極	12
2.2.3 ファンクションジェネレータ	14
2.2.4 渦電流変位センサ	15
2.2.5 オシロスコープ	17
2.3 実験結果および考察	18
2.3.1 共振周波数測定	18
2.4 第2章結言	19
第3章 深穴放電加工における側面ギャップの観察	20
3.1 緒言	20
3.2 実験装置・方法	20
3.2.1 放電加工機	20

超音波振動を援用した高アスペクト比マイクロ加工に関する研究

i

3.2.2 トランジスタ回路	25
3.2.3 制御システム	26
3.2.4 観察装置	31
3.3 実験条件および実験方法	37
3.3.1 気泡による加工屑排出効果	37
3.3.2 アスペクト比ごとの観察	38
3.3.3 気泡占有部比較	40
3.3.4 気泡の合	41
3.3.5 放電波形	42
3.3.6 底面部と側面部の関係 超音波振動付与無し	43
3.4 結言	44
第4章 超音波振動付与放電加工	45
4.1 緒言	45
4.1.1 底面部と側面部の関係 超音波振動付与有り	45
4.2 実験装置・方法	46
4.2.1 超音波振動付与装置概要	46
4.3 実験結果および方法	48
4.3.1 電極に超音波振動付与	48
4.3.2 加工液に超音波振動付与	51
4.4 第4章 結言	52
第5章 回転電極放電加工	53
5.1 緒言	53
5.2 実験装置・方法	53
5.2.1 回転付与装置概要	53
5.3 実験結果および考察	56
5.3.1 回転電極実験結果	56
5.4 結言	59
第6章 結論	60
6.1 本研究のまとめ	60
6.2 今後の課題	62
参考文献	63

超音波振動を援用した高アスペクト比マイクロ加工に関する研究

ii

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名 : 新潟大学教育学部(ニイガタダイガクキョウイクガクブ)

住所 : 〒950-2181

新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050

担当者 : 准教授(ジュンキョウジュ)

担当部署 : 平尾篤利(ヒラオアツシ)

E-mail : hirao@ed.niigata-u.ac.jp

URL : <http://www.ed.niigata-u.ac.jp/~hirao/>